



جمعية المهندسين الملكيين المصريين

النشرة السابعة من السنة التاسعة عشر

١٤٤

محاضرة عن

تجارب التحميل في المنشآت الخرسانية

وأهميتها من الوجهتين العلمية والعملية

للكرنور سيد مرقفى

وكيل المكتب الفنى لكبارى السكة الحديد

أقيمت بجمعية المهندسين الملكية المصرية

بتاريخ ١٣ ابريل سنة ١٩٣٩

حقوق الطبع محفوظة للجمعية

ESEN-CPS-BK-0000000216-ESE

00426236



جَمْعِيَّةُ الْمُهَنْدِسِينَ الْمَمْلُوكِيَّةُ الْمِصْرِيَّةُ

النشرة السابعة من السنة التاسعة عشر

١٤٤

محاضرة عن

تجارب التحميل في المنشآت الخرسانية

وأهميتها من الوجهتين العلمية والعملية

للدكتور سيمر مرنفى

وكيل المكتب الفنى لىكبارى السكة الحديد

أقيمت بجمعية المهندسين الملكية المصرية

بتاريخ ٦ أبريل سنة ١٩٣٩

حقوق الطبع محفوظة للجمعية

الجمعية ليست مسئولة عما جاء بهذه الصحائف من البيان والآراء .
تنشر الجمعية على أعضائها هذه الصحائف للنقد وكل نقد يرسل للجمعية
يجب أن يكتب بوضوح وترفق به الرسومات اللازمة بالحبر الأسود (شينى)
ويرسل برسمها .

التجارب أس الحقيقة الأوحـد

“L'Experience est la Source Unique de la Vérité.”

هذه كلمة قالها مرجع كبير حنكته هذه التجارب هو العالم الخالد والرياضى الكبير هنرى بوانكاريه .

فاذا كان هذا هو المثل الأعلى لرجل رياضى اختار لنفسه فى الحياة مهمة قهر غوامض النظريات وتسطيرها فى أسفاره فما أجدرنا معشر المهندسين ونحن رجال الأعمال أن يكون هذا رائدنا وقد فرضت علينا المهنة التى اخترناها لأنفسنا ليس فقط أن نقر النظريات وأن نسطر على القراطيس بل حتمت علينا أن نخرج إلى الطبيعة ونصارعها ونصرعها وننقش عليها نظرياتنا بحروف بارزة شاخصة هى ما نقيمه عليها من منشآت ومرافق .

فالنظريات العلمية فى عالم الهندسة هى النظام الذى توصل إليها التفكير الهندسى نتيجة لتفهم ما يحدث فى الطبيعة من أسباب وما ينشأ عنها من مسببات وربط بها العلاقة بين هاته وتلك ووضعها فى قوالب رياضية ليسهل تناولها . ففى طريق ممد يهـدى إلى معالجة المضلات الفنية والوصول بها إلى حلول إن اتبعناها أمناً الوقوع فى الأخطاء الجسيمة .

وهذه النظريات ليست كلها بالعلمية البحتة التى تستند فى منشأها إلى الرياضة فقط بل أن معظمها نتيجة التجارب والمشاهدات معبر عنها بمعادلات

وقوانين أكتسبتها المسححة النظرية بل وأنخرطت في سلك النظريات مع مرور الزمن .

فمعادلات الانبعاج لتتمايز وضغط الأرض لكولومب ومنحنيات التأثير الديناميكي والهزات الذاتية للكبارى وقوانين توزيع الاحمال والاحتكاك كلها نتيجة مباشرة للتجارب .

وما علمته منها الصبغة الرياضية البحتة كمعادلات ايلر للانبعاج ورائكلين لضغط الأرض ومور للمرور وهرتز لتوزيع القوى ونافير لتوزيع الاجهادات يتوقف قوامها عند تطبيقها على معاملات متعلقة بالمادة وإغفال بعض المؤثرات الطبيعية ما يجعل قيمتها العملية متوقفة إلى درجة كبيرة على اختيار هذه المعاملات كل حالة وما يناسبها . وهذا ما لا يمكن العثور عليه في أساطير الرياضة البتة .

ولأغرابة في ذلك فأنما نعالج في أعمالنا أموراً طبيعية معقدة ومتشعبة ونستعمل مواداً مهما بلغت نقاوة جوهرها فانه لا يمكن ربط خواصها بقوانين جازمة تخضع لها في جميع الأحوال فكل ما يمكننا عمله هو وضع قواعد تقريبية لهذه الخواص تتفق مع ما يغلب حدوثه في الواقع وكلما قل الشذوذ عن هذه القواعد كلما ارتفعت قيمتها وزادت الثقة بها .

والوقوف على كنهه ما يحدث فعلاً في المنشآت انما يتأتى باختبار المنشآت نفسها ففيها أوثق المصادر . فالشاهدات والخبرة التي نجمعها من ممارسة أعمالنا والنتائج التي نحصل عليها من تجارب اختبار المواد في المعامل وتجارب التحميل والقياس على المنشآت لها قيمة لا تقدر في إظهار حقيقة ما يجري في جزئيات

المنشأ وكياناته بطريقة صادقة صريحة لا تتركن إلى فروض حاوية لكل ما يمكن وما لا يمكن مراعاته في الحساب النظري . فهي حكم على المنشأ غير قابل للنقض .

فتجارب التحميل خير ما يدعم عرفاننا للحدود التي يجب ألا تتعداها الاجهادات ومعاملات السلامة التي نتخذها أساسا لحساباتنا ليخرج المنشأ خاليا من الشوائب وأيا بالفرض من حيث المتانة والقوة والمرونة يعمل في الحدود المرسومة له من حيث الترخيم والتقويض والهبوط والاهتزاز والاجهاد والنقص والتعدد والدوران تحت ما يحمله من أحمال ثابتة ومتحركة ومتغيرة . ونتأج هذه التجارب تهى لنا مراجعا للمقارنة فيما يستجد من الحالات المماثلة نصل بها إلى الفرض المطلوب بأقرب الطرق وأسلمها دون أن نرهق أنفسنا بالحسابات النظرية الطويلة في كل حالة بل وربما وفرت علينا هذه النتائج الحسابات بتاتا .

ويتحتم أن يسبق هذه التجارب معرفة صحيحة لخواص مواد البناء نفسها من حيث المرونة والمقاومة للاجهادات المختلفة من شد وضغط وقص ولى وطرق وقصف واتعاب كما يجب أن نكون على علم بين لدى تحملها لتأثير العوامل الجوية من حرارة وبرودة وعصف رمال ومناعتها الكيميائية أمام فعل الألاح والأمحاض التي تحتويها المياه الاسنة والمياه الارضية ومياه البحار والتربات المختلفة لنضمن حصانتها أمام ما ستقابه من عوامل قد تحد من قوتها بل وقد تعمل على تآكلها .

لذلك كانت دراسة المواد واختبارها من الوجهتين الميكانيكية والكيميائية لفهم ما تتركب منه من عناصر وطريقة ترتيب جزيئاتها هي أساس ما يتطلبه

فن الإنشاء وأهم ما يقتضيه التطور في هندسة البناء فيجب أن يكون وحده الحكم الأول الذي له القول الفصل في اختيار معدن المنشأ وخامياته .

فهناك إذا ثلاثة دعائم قوية متصلة الحلقات لا غنى عنها إذا أريد العمل على بصيرة وبينة لانتقاء الوقوع في الخطأ وهي الحساب النظرى ، اختبار المواد ، الخبرة المكتسبة من المنشآت القائمة .

فاذا تجمعت هذه وزاد عليها سلامة الذوق وجمال الفن لوصلنا بالمنشآت إلى درجة السكمال .

وموضوع محاضرتنا اليوم يتناول بالبحث على الأخص ثلاثة النقاط السالفة الذكر وهي الخبرة المكتسبة من المنشآت القائمة بعمل تجارب التحميل عليها مع جولة صغيرة في استعراض خواص المادتين الأساسيتين التي تقوم عليهما المنشآت التي اختصيناهما بالذكر اليوم وهما الخرسانة وحديد التسليح .

تنقسم تجارب التحميل إلى قسمين أساسيين . وهما تجارب التحميل الاستاتيكي لدراسة خواص المنشأ تحت فعل الأحمال الثابتة ثم تجارب التحميل الديناميكي لدراسة خواص المنشأ تحت فعل الأحمال المتحركة والمثيرة للاهتزاز . وهذا النوع الأخير من التجارب له أهمية عظمى في السكبرى ولكن قسطه من الاهتمام في المباني ضئيل مالم يكن هناك دواع خاصة تستدعيه كأن يكون في المبنى آلات دائرة كما هو الحال في المصانع ومحطات توليد القوى أو كان المبنى نفسه شديد الحساسية للاهتزاز كلما دُن وأبراج الكنائس إذ يحدث الاهتزاز في الأخيرة مثلاً نتيجة لقرع الأجراس .

مواد البناء

١ - الخرسانة .

أن معرفة الخواص الفنية لهذه المادة معرفة كاملة هو أول مايجب عمله عند القيام ببناء منشأ له أهمية خاصة .

ويجب الفصل في اختبار هذه المادة بين ماتبيديه من ترخيم مرن يرتد بعد رفع القوى المؤثرة وبين الجزء غير المرن وهو الذى يتبقى بعد رفع الحمل وتحديد مدى الاجهاد الذى يتضخم فيه هذا الجزء الأخير والمقدار الذى يجب ألا يتعداه إذ أنه يعمل على إحداث تقويص دائم فى المنشأ يزداد مع مرور الزمن . ويجب تحديد مقاومة هذه المادة للاجهادات المتغيرة (الأتعاب) والتغير فى مقدار مقاومتها ومرورها مع مرور الزمن وتحت تأثير التحميل المستمر ثم فعل الانكماش وتغيير الحرارة فيها .

ونخص بالذكر أثر فعل الحرارة والانكماش فى إحداث الاجهادات ومما لذلك من دخل مباشر فى تحديد معامل السلامة الحقيقى للمنشأ فهما ليسا بالأحوال الخارجية التى يمكن حصرها بل هما عاملان داخليان يعملان على إحداث الاجهادات التى قد تبلغ فى بعض الأحيان شأواً كبيراً يتوقف مقدارها إلى حد كبير على خواص المادة نفسها والطريقة التى اتبعت فى تنفيذ البناء إذ يمكن بتفهم كنه فعلهما أن نعمل على كسر حده تأثيرهما بوضع برامج محكمة لصب أجزاء المنشأ وتزويده بوصلات تمدد فى المواضع الصحيحة إذا كان ذلك فى حيز الامكان . ويجب فى هذا المقام التنويه بأن الاجهادات التى تنشأ عن الحرارة والانكماش

تفقد أهميتها وتتلاشى إذا وصل التحميل بالمنشأ إلى درجة يفقده بها مرونته إذ أن قوامها يتوقف على مقدار معامل مرونة المادة فيتلاشى قيمة هذا المعامل عند وصول المادة إلى درجة النزاع نتيجة التحميل تلاشت هذه الاجهادات معه . فلا تشترك بذلك هذه الاجهادات في الاجهاز على المنشأ عند زيادة التحميل فلا دخل لها إذا في تحديد مقاومة المنشأ للكسر .

تحديد معامل المرونة للخرسانة

إن لهذا المعامل دخل في جميع ما يتعلق بالمنشأ من أبحاث نظرية وتجارب . ولما كان تحديد مقاومة المادة للكسر سهل المنال إذ يكفي لذلك اختبار بضعة من المكعبات قاد التفكير إلى إيجاد العلاقة بين المقاومة للكسر ومعامل المرونة ليسهل بذلك تحديد قيمته بطريقة سريعة سهلة .

وقد كان هذا التفكير موقفا الى درجة كبيرة . ولسهولة اجراء القياس على قطعة الاختبار استعاض بمتوازي المستطيلات بارتفاع يساوى ثلاثة أمثال طول الضلع عن المكعبات وذلك لاماكان تثبيت آلات القياس عليها . (شكل ١) ومقاومة الكسر لمتوازي المستطيلات أقل منها للمكعب إذ تبلغ ٠,٨ منها . ويرجع ذلك الى أسباب عديدة منها زيادة تأثير فعل الاحتكاك بين لوحى آلة الاختبار وسطحي المكعب عنها في متوازي المستطيلات مما يعمل على مقاومة تعدده في الاتجاه العرضى فتزيد بذلك متانته .

وتعمل التجربة على متوازي مستطيلات بحجم ١٢ في ١٢ في ٣٦ سنتيمتر

بتثبيت أربعة مقاييس للاجهادات على أسطحه الجانبية الأربعة . ثم يحمل تدريجيا وتدون قراءات المقاييس . ولشكل المنحنى الناتج من هذه العملية أهمية كبيرة . (شكل ١) فهو ليس بالخط المستقيم أى انه ليس هناك تناسباً دقيقاً بين درجة التحميل ودرجة التغير في الطول . ويحدد معامل المرونة بظل الزاوية المحصورة بين المماس للمنحنى عند مبدئه والاحداثى الميّن للتغير في الطول .

وإذا عملت التجربة على درجات بحيث يرفع التحميل بعد كل منها لتبين لنا أنه يتبقى تقلص دائم عقب كل تحميل حتى ولو كان صغيراً . ويصل هذا الى درجة كبيرة عند حمل يبلغ حوالى نصف الى ٠.٦ و٠ من مقاومة الكسر حيث يحدث انحراف كبير في منحنى التحميل . وإذا زاد التحميل عن ذلك ازدادت ظاهرة انزلاق جزيئات الخرسانة على بعضها فهو بذلك الحد الاعلى لما يجب أن تكون عليه الاجهادات بأى حال من الاحوال لئلا ينشأ عنها في المنشأ ترخيم دائم يزداد مع الزمن . ويحدد الاجهادات المسموح بها بنصف هذا المقدار عادة أو بما يوازى ربع الى ثلث المقاومة للكسر .

(وشكل ٢) يبين العلاقة من معامل المرونة ومقاومة الكسر لتوازى المستطيلات نتيجة تجارب السنين الطويلة بمعمل تجارب اختبار المواد بزيورخ وهذا المنحنى يحدد معامل المرونة في حدود الاجهادات التى تقل عن ثلث المقاومة للكسر أى في حدود الاجهادات المسموح بها .

مقاومة الخرسانة للشد

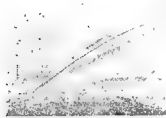
إن أهمية رفع قيمة مقاومة الخرسانة للشد ليس الغرض منه إمكان تحميلها به والاستفادة من مقاومتها له في حساب المنشآت . ولكن الأهم من ذلك هو مكافحة حدوث الشقوق الشعرية وخطر ذلك من تسرب المياه أو الرطوبة أو الغازات الى حديد التسليح والاضرار به علاوة على ما ينشأ عن هذه الشقوق من أضرار قوة الالتصاق بين الحديد والخرسانة تحت فعل الاجهادات المتغيرة مع مرور الزمن فمقدار اجهاد حديد التسليح يتوقف إلى درجة كبيرة على مدى التمدد الذى يسمح له به بدون أن ينتج عنه تضخم في شقوق الخرسانة عندما تتبعه بحكم احكام الاتصال بينهما . لذلك كانت هذه النقطة من أهم ما وجب مراعاته في استعمال الحداث ذات المقاومة العالية في التسليح .

ومقاومة الخرسانة للشد ضعيفة جدا فمى قد لا تصل في أجود أنواعها إلى ٥٠ كيلو جراما للسنتيمتر المربع ولا تزال الأبحاث الجبارة قاصرة عن رفع هذه القيمة وهى أعجز عن رفع مقاومتها للتشقق .

ومعامل المرونة للخرسانة في الشد أعلى بقليل منه في الضغط ويوضع المقداران متساويان في عمل الحسابات . ويعمل قياس المرونة للشد على أجسام كبيرة لامكان سهولة ربطها في آلة الاختبار ويعمل اختناق في قطاعها العرضى في الوسط لتحديد منطقة الكسرفيه وعليه يتم القياس (شكل ٣) وتعمل التجربة باجهادات صغيرة نظرا لضعف مقاومة الشد لذلك يتحتم استعمال آلات دقيقة في القياس .

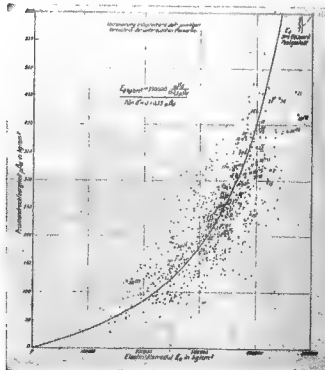


Fig. 1. Compression test of concrete.



(شكل ١)

تحديد معامل المرونة ومقاومة الكسر للخرسانة للضغط



(شكل ٢)

العلاقة بين معامل المرونة ومقاومة الكسر للخرسانة للضغط

ونظراً لما تتطلبه هذه التجربة من عناية خاصة استعيب منها في الأحوال العادية بتجربة الانحناء وفيها يستعمل متوازي المستطيلات العادى حيث يركز على طرفيه ويحمل في وسطه فيتعرض سطحه الأسفل للشد وعليه يتم القياس .

مقاومة الخرسانة للاجهادات المتغيرة

هناك ثلاثة حدود مهمة للاجهادات المتغيرة (شكل ٤) الحد الأول عندما يكون مقدارها الأعلى مساوياً لمقدارها الأسفل في القيمة ومما يرا له في النوع ويسمى بحد الاجهادات المنعكسة وهو أسوأ أنواعها . والحد الثانى عندما يتراوح مقدارها بين الصفر وحد أعلى فلا يتغير بذلك نوعها ويسمى بحد الاجهادات المتغيرة لأنه الحد الفاصل الذى بعده تغير علامتها . والحد الثالث عندما يتراوح مقدارها بين حدين من نفس النوع .

واصطلح على أن يكون نجاح المادة في مقاومة أى نوع من هذه الاجهادات هو قدرتها على تحمله مليون مرة متوالية .

والذى يهمننا من هذه الاجهادات للخرسانة هو قيمة مقاومتها لحدود الاجهادات المتغيرة للضغط . وقد حددت التجارب هذا المقدار بحوالى نصف إلى ٦٠ ٪ من مقاومة الكسر وهو نفس الحد الذى يبتدىء فيه تضخم الانبعاج الدائم تحت الاحمال الثابتة كما سبق شرحه وهذا دليل آخر على أن الخرسانة تظهر عليها بوادر الضعف عند هذا الحد ومبرر آخر لضرورة اعتباره الحد الأقصى لما يجب أن تصل إليه الاجهادات إطلاقاً أياً كان نوعها .

حديد التسليح

إن الشائع استعماله في الأحوال العادية هو الأسياخ المبرومة من الصلب الطرى . والمتداول منه في السوق عندنا هو الحديد البلجيكي المعروف بالحديد ٣٧ وهى أقل قيمة يسمح بها لمقاومته للشد بالكيلوجرام على المليمتر المربع . وهو شائع الاستعمال في القارة الأوروبية ويسمح فيه باجهاد قدره ١٢ كيلوجراما على المليمتر المربع وحد المرونة فيه حوالى ٢٢ كيلوجراما على المليمتر المربع وتصل مقاومته للكسر إلى ٤٢ كيلوجراما على المليمتر المربع ونسبة امتداده عند الكسر لقطعة طولها عشرة أمثال قطرها تصل إلى ٢٩ ٪ ومعامل مرونته ٢٠٠٠ طن للسنتيمتر المربع .

قد لا يفي هذا الحديد بالغرض في بعض المنشآت الحديثة ذات الأهمية الخاصة . فأتجه التفكير إلى استعمال الحدائد ذات المقاومة العالية وإجهادها بقيمة أعلى . ولما كانت معاملات المرونة لهذه الحدائد لا تختلف كثيرا عن معامل المرونة للحديد العادى كانت كل زيادة في الاجهاد معناها زيادة في مقدار التمدد وتعريض الخرسانة للتشقق بدرجة أكبر . ولما كانت مقاومة الخرسانة للشد محدودة فإن التشقق واقع لا محالة فكل ما يمكن عمله في هذه الحالة هو توزيع الشقوق بانتظام على طول المسافة بدلا من تركها تتجمع في مجموعة من النقاط فتتضخم . ويتأتى ذلك بزيادة قوة الالتصاق بين الخرسانة والحديد . فاخترعت لذلك الحدائد المشككة . ونستعرض منها الآن ثلاثة أنواع :

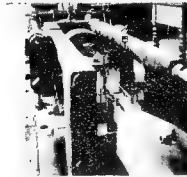
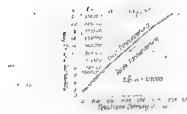
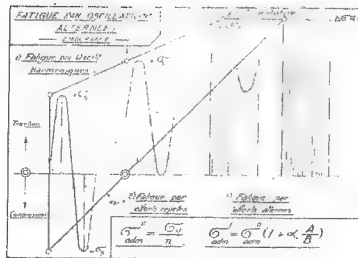


Abb 11 Zugversuch Überdruck 7x10 cm
Eisenblechversuch



(شكل ٣)

تحديد معامل المرونة ومقاومة الكسر للخرسانة للشد



(شكل ٤)

أنواع الاجهادات المتغيرة

١ - الحدائد المقتولة

إن للصلب خاصية ذات أهمية كبيرة وهو أنه إذا زاد تحميله إلى ما بعد حدود المرونة ثم رفع عنه التحميل لا يتردد إلى حالته الأصلية بل يحتفظ بشيء من التمدد المستديم ولكن صلابته ترتفع (شكل ٥) .

عمل على استغلال هذه الظاهرة فيما نسميه بالحديد المقتول وهو عبارة عن أسياخ من الحديد العادى تقتل على بعضها بأن يضم كل سيخين إلى بعضهما ويربط أحد طرفيهما فى منجلة ثابتة ويربط الطرف الثانى فى منجلة مركبة عليها آلة لادارتها وهى ثابتة فى موضعها . فبادارة هذه المنجلة يلتف السيخان على بعضهما مع بقاء المسافة بين طرفيهما ثابتة (شكل ٦) .

ولما كان طول السيخين المقتولين مقاساً على الخط الحزونى أطول من طولها الأصىلى على الخط المستقيم فان هذا الفرق فى الطول يتأتى من تمدد الأسياخ . ويحدد مقدار هذا التمدد بعدد اللغات التى تعمل فى السيخين .

نصل بهذه العملية الى ثلاثة نتائج :

أولاً - إن عملية القتل فى نفسها هى اختبار لكل سيخ على حدة فها هى الا تجربه شدولى : فالأسياخ الضعيفة تنكسر أثناء العملية وتظهر عيوبها .

ثانياً - ارتفاع حد المرونة فى الأسياخ نتيجة تصلبها الناتج عن امتدادها الى ما بعد حدود المرونة أثناء عملية القتل ثم رفع الحمل عنها . ويتلو ذلك إمكان رفع قيمة الاجهادات المسموح بها فيها .

ثالثا — إن سطح السيخين المفتولين يهيء مجالا أكبر لتغلغل الخرسانة في تجاويفه فيزيد بذلك من قوة التصاقها بالمعدن ويعمل ذلك على توزيع التشقق فيها وتقليل خطره .

وقد ازداد استعمال هذه الأسياخ بدرجة كبيرة في المباني والسكاري (شكل ٧) و (شكل ٨) .

ويسمح في هذا الحديد باجهاد قدره ١٨ كيلوجراما على المليمتر المربع أى بزيادة ٥٠ ٪ عن الحديد العادى . ومقاومة التصاق الخرسانة به حوالى ٤٥ ك / سم^٢ بدلا من حوالى ٣٠ فى الأسياخ العادية بزيادة ٥٠ ٪ أيضا :

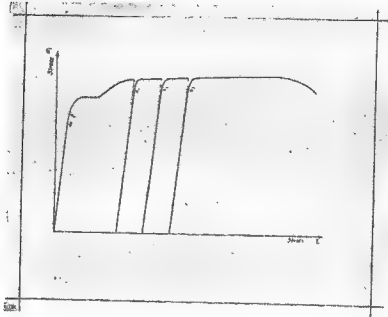
ب — حديد الر كسر

يعمل هذا الحديد من الصلب على المقاومة بقطاع عرضى ذى أربعة شعب تنوسطها جذوع صغيرة عرضية موزعة على طول السبخ تقسمه الى مناطق صغيرة لزيادة مقاومة الالتصاق بينه وبين الخرسانة ويسمح برفع الاجهاد المسموح به فيه الى ٢٢ كيلوجراما فى المليمتر المربع .

وقد شاع استعمال هذا الحديد فى السكاري ذات الفتحات الكبيرة بقصد التوفير فى ابعاد الخرسانة (شكل ٩)

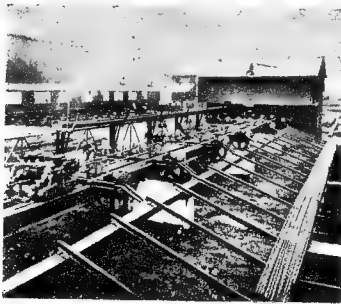
ج — حديد التور

يعمل هذا الحديد كسابقه من صلب على المقاومة على شكل أسياخ مبرومة مزودة بمروق حلزونية على سطحها لزيادة ربطها بالخرسانة وله نفس الخواص كسابقه .



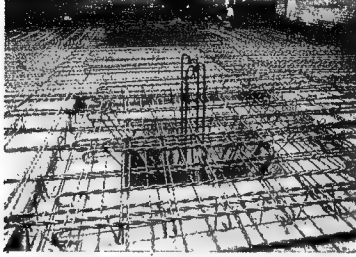
(شكل ٥)

العلاقة بين التحميل والتفجير في الطول للحديد تحت الاجهادات
المتكررة بعد اجتياز حدود المرونة



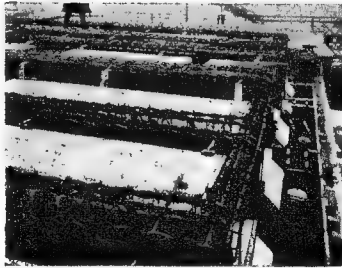
(شكل ٦)

آلة صنع الحديد المقنول



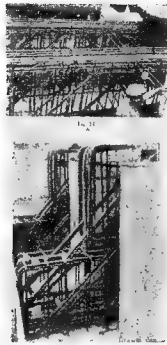
(شكل ٧)

تسليح سقف ،كون من بلاطة منبسطة بالحديد المفتول ويلاحظ
الاقتصاد الكبير في مقدار التسليح

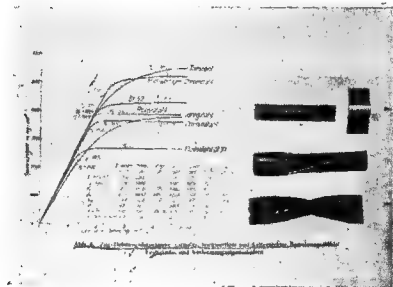


(شكل ٨)

تسليح الكمرات الرئيسية لسكوى بالحديد المفتول وقد أدى
الاقتصاد في الحديد الى تقليل أبعاد الخرسانة



(شكل ٩)
تسليح السكمر الرئيسى لكوبرى بمجديد الراسر



(شكل ١٠)
منعنيات المرونة للحدائد عالية المقاومة

وشكل (١٠) يعطى منحنيات المرونة لهذه الحدائد المختلفة .
والحدائد المشكلة أهمية كبيرة من الوجهة العملية إذ أن ارتفاع درجة ارتباطها بالخرسانة يجعلنا نستغنى عن الجنشات بتاتا في وصلها أو تهليها إذ يكفى لذلك أن يترك بعض الطول من السيخ الى ما وراء النقطة التي يبتدىء فيها اجهاده وفي ذلك الكفاية .

وقد شاع استعمال اللحام الكهر بائى فى وصل هذه الاسياخ فاغنى بذلك عما نقابله من متاعب فى التقيد باستعمال أسياخ بأطوال محدودة وعمل على اختصار ابعاد الخرسانة لعدم الحاجة الى ترك براح لعمل الجنشات والوصلات .

و يوصل السيخان بأن يشطف طرفيهما بالشعلة الاسيتيلينية على شكل رقم (٧) أو يبرى هذان الطرفان ثم يملأ الفراغ الناتج باللحام (شكل ١١)
ويجب اختبار جودة اللحام بإجراء تجربة الشد والثنى والاعتاب على مواضع اللحام كما أنه يجب التأكد من خلو جسم اللحام من الفراغات والشوائب .
ويمكن الوصول باللحام الجيد الى نتائج قيمة (شكل ١٢) وتختار قطع التجربة مما تم عمله من اللحامات لاستعماله .

مقاومة الحديد للاجهادات المتغيرة

إن مقاومة الحديد للاجهادات المتغيرة كبيرة ويصل حد المقاومة للاجهادات المتغيرة فيه إلى حد مرونة المعدن تقريبا . وينخفض هذا الحد عند نقط وصل الاسياخ ببعضها باللحام الكهر بائى فهى بذلك تنقط ضعف بجدرا أن ترتب بحيث لا تقع فى النقط الأكثر إجهادا فى المنشأ .

بعد هذه النظرة السطحية في خواص عناصر الخرسانة المسلحة ننقل إلى صلب موضوع محاضرتنا وهو تجارب التحميل .

إن أهم الأغراض من هذه التجارب هي :

١ — التأكد من سلامة المنشأ بعد إتمامه وخلوه من الأخطاء وقدرته على القيام بما يتطلب منه في نطاق الحدود الموضوعة له في مواصفاته .

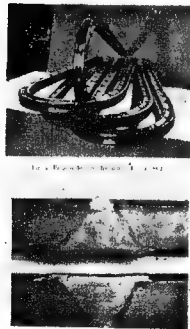
٢ — اختبار كفاية المنشآت القائمة ومقدرتها على مجاراة التطور في أنواع الأحمال من حيث زيادة أوزانها وسرعتها على مرور الزمن .

٣ — دراسة تأثير الزمن على المنشآت نتيجة لفعل الأحمال الثابتة والمتغيرة وتقلبات الجو وما لذلك من أثر في تغيير خواص موادها أو تمدد هبوطها وما ينتج عنه من تبديل في طريقة عملها كأن يقسب في تعطيل عمل ما بها من مفصلات أو قفل وصلات التمدد فيضيع بذلك الغرض المطلوب منها . ويتم ذلك بعمل التجارب الدورية وتدوين ما يلاحظ عند كل منها من تغيير فلا نفاجأ يوماً بسقوطها وما ينتج عن ذلك من كوارث .

٤ — معالجة العيوب التي تظهر في المنشآت كالاhtزاز في الكبارى والمباني بعمل تجارب التحميل الديناميكي ودراسة خواص المنشأ الديناميكية لتحديد الهزات الذاتية ومعاملات التكبير الديناميكي ومدى الاجهادات المتغيرة وتأثير فعل الانعاب واستئصال ما ينتج عنها من أضرار بتفهم مسبباتها والتخلص منها كتجديد السرعات على الكبارى وتحديد عدد دورات الآلات في المباني بما يتفق مع خواص المنشأ الديناميكية لئلا تنير الهزات العنيفة فيه وتقذف به إلى



(شكل ١١)
عملية اللحام في أسياخ التسليح ونتائج تجارب الشد



(شكل ١٢)
تهيئة التفتي على البارد لمواضع اللحام . وقطاع في اللحام نفسه يبين درجة تفاوته

الرعونة (Resonance) فتجعله عرضة للاهتزاز المفاجيء نتيجة الأتباع .

٥ — تدعيم النظريات العلمية بالقياس العملى والمقارنة بين ما تم حسابه نظرياً وبين ما يحدث فعلاً وما ينتج عن ذلك من اظهار نقط الضعف فى بعض النظريات والفروض مما يجب ملاحظته ومراعاة ذلك فى تعديل البنود الموضوعة فى دفاتر الشروط لما يستجد من منشآت فى المستقبل .

٦ — زيادة الثقة بما تقيمه من منشآت والاطمئنان اليها مما يشجع على التدرج فى زيادة استغلال المواد بزيادة اجهاذا وما لذلك من اقتصاد فى مكعباتها وتكاليفها . مما يوفر أموالاً طائلة ليس هناك أى داع لتبذيرها .

تجارب التحميل الاستاتيكي

تعمل هذه التجارب لدراسة فعل الاحمال الثابتة . يوضع برنامج التجربة بناء على دراسة نظرية سابقة فتختار نقط التحميل ونقط القياس فى المواضع التى يتضخم فيها فعل التحميل لنخرج من التجربة بأكبر محصول ممكن .

أول ما يتجه اليه النظر فى المنشآت الجديدة هو الوقوف ما أمكن على مدى تأثير فعل وزن البناء نفسه . فتركب آلات القياس على المنشأ وهولاً يزال رابضاً على الشدة الخشبية أو المعدنية ثم تفك الشدة تدريجياً فيبدأ فعل وزن المبنى وتدون الآلات ما يتم حدوثه .

وهناك صعوبة تقابلها فى مثل هذه التجارب وهى أنه عند ما يتم جفاف الخرسانة وتتصلب تعمل عليها الحرارة قترفعها عن الشدة فتحمل بذلك

جزءاً من وزنها ويفتح ذلك أيضاً عن انكماش خشب الغرم نفسه نتيجة تبخر ما يحويه من الماء والرطوبة فينفصل بذلك عن الخرسانة ويتركها تحمل نفسها فلا غرابة في هذه الحالة إذا صادفنا تبايناً قد يكون كبيراً بين ما تم قياسه بالتجربة وما سبق حسابه نظرياً .

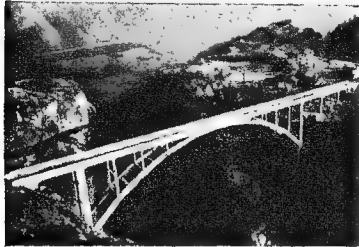
وإلى حضراتكم تجربة عقد خرساني كبير لكوبرى جوروز على وادى التريانت بمقاطعة فاليس بسويسرا اشتركت في تجربته (شكل ١٣) .

فتحة العقد ٥٦ و ٩٨ متر ، ارتفاعه حوالى ٢١ متر . أظهرت تجربة فك الشدة (شكل ١٤) فرق يسير بين الحساب النظرى والقياس نتيجة حمل العقد لجزء من وزنه . وقد قيست الاجهادات والترخيم والدوران في المنتصف وفي الطرفين والطرفين .

وكانت الخطوة الثانية في التجربة تحميل العقد وهو واقف بمفرده قبل تركيب أرضية الطريق والأعمدة التي تحملها وذلك لدراسة خواصه وهو على هذه الحالة إذ يفرض غالباً أن العقد وحده هو الذى يقوم بحمل كل ما يتأذى عليه .

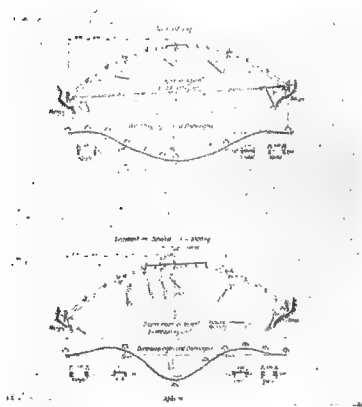
فوضع على قمة العقد حمل قدره ثمانية أطنان ونصف وأجرى القياس في نفس المواضع السابقة وقد انطبقت نتائج التجربة على الحساب النظرى تماماً .

ويجب ملاحظة خطر انبعاج العقد وهو قائم على هذه الحالة إذا بولغ في الحمل الذى تعمل به التجربة إذ أن حسابه يعمل على فرض أن الاحمال متوزعة على مدى كبير وليست متركزة في قته علاوة على ما لربطه مع أرضية الطريق بالأعمدة من زيادة في قدرته على مقاومة الانبعاج .



(شكل ١٣)

كوبرى جوروز على وادى التريانت



(شكل ١٤)

(خطوط الترخيم اللمعة)

أعلى : تجربة فك الشده
أسفل : تجربة تحميل القيد وهو قائم بمفرده

والخطوة الثالثة للتجربة كانت بعد تمام بناء الكوبرى باستعمال سيارات النقل المنقلة وإعادة عمل القياس فى نفس المواضع . وبمقارنة نتائج القياس مع الحساب النظرى على فرض أن العقد يحمل كل الحمل بمفرده ظهر أنها أقل من القيم النظرية مما يدل على أن ما استجد على العقد من أرضية الطريق وكراته تشترك اشتراكاً فعلياً معه فى الحمل وتعمل على التخفيف عنه (شكل ١٥) .

وقد قادت هذه الظاهرة إلى استنباط نوع جديد فى باب من المنشآت وهو ما نسميه بالعقد المقوى يعمل حسابه من المبدىء على أساس اشتراك كمرات الطريق مع العقد فى رفع الحمل (شكل ١٦) .

وبهذه الطريقة يمكن المبالغة فى تخفيف العقد . والشكل يبين عقد بفتحة ٤٣ و ٢٠ متر عمل بسمك ٢٣ سنتيمتر فى المنتصف و ٢٩ سنتيمتر فى الأطراف وقد عملت عليه تجربة التحميل فأظهر صلابه أكبر مما كان ينتظر منه نظرياً .

ويتلو تجربة التحميل الاستاتيكي أن تطلق السيارات بسرعات عالية على الكوبرى لاختبار اهتزازه ولنا عودة إلى ذلك . وكلما كان الحمل الذى تعمل به التجربة متركزاً على طول قصير كلما زادت دقة قياس خطوط التأثير إذ أن هذه إنما يفرض فيها الحمل المتركز فى نقط واحدة . وقد عمل السويسريون على تحقيق ذلك ببناء عربة خصيصاً للتجربة استعاض بها عن القاطرات عبارة عن حمل قدره ٣٦ طن مركب على دنجل واحد (شكل ١٧) يمكن به قياس خطوط التأثير بدقة كاملة .

ويتم الوصول إلى نفس الغرض فى كبارى الطرق بتركيز الحمل على العجلة

الخلفية لسيارة التحميل وذلك بوضع كرات طويلة عليها تمتد إلى الخلف فتعمل على إحداث عزم دوران سلبي حول محور العجلة الخلفية يعمل على تركيز باقي ثقل السيارة على هذه العجلة (شكل ١٨) .

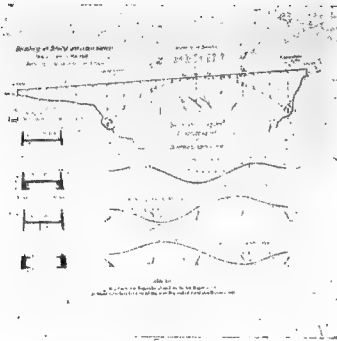
وإلى حضراتكم مثل آخر لتجربة عملت على عقد خرساني أيضا من ذوى الثلاثة مفصلات بناه المهندس القدير روبرت ميار على طريقته الخاصة . وهو كوبرى النور بمدينة فلنرج بمقاطعة سنت جالن بسويسرا (شكل ١٩) .

فتحة العقد ٧٢ مترا وارتفاعه ٨٥٣ مترا وقطاعه العرضى من النوع الصندوقى يتدرج سمك بلاطته السفلى من ١٨ إلى ٣٢ سنتيمترا ويبلغ سمك الجانبين ١٥ سنتيمترا . وقد قيس الترخيم والدوران فى الوسط والربع وقيست الاجهادات فى نقط متعددة (شكل ٢٠) فظهر اتفاقها التام مع القيم النظرية .

واستعرض الآن تجربة اشتركت فى عملها لكوبرى على نهر الرون بالقرب من بلدة دوريتاز بمقاطعة فاليس بسويسرا من عمل المهندس سارازان (شكل ٢١) بنى من كرتين رئيسيتين مستمرتين على ثلاثة فتحات بلغت فى الوسط ٤٥ متر وفى الطرفين ٥ و ٣٠ متر . ويبلغ ارتفاع الكرة فى المنتصف الكوبرى ٥٠ و ٢ متر وعلى الدعائم ازدادت الى حوالى خمسة أمتار وسمكها ٣٠ سنتيمترا فقط ويبلغ عرض الطريق التى تممه خمسة أمتار (شكل ٢٢)

قيس الترخيم فى الوسط للفتحة الكبرى والفتحة الجانبية وكذلك الاجهاد كاقيس الدوران على أربع نقط الارتكاز (شكل ٢٣) .

والمطابقة بين الحساب ونتائج التجربة تكاد تكون كلية .



خطوط التأمير

(١) الترخيم في القمة

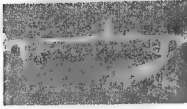
(٢) الترخيم في الربع الأيسر

(٣) الترخيم في الربع الأيمن

(شكل ١٥)

تجربة تحميل القند بعد انتهاء البناء

(الخطوط الثقيلة هي نتائج القياس والخطوط الخفيفة هي نتائج الحساب النظري)



نقطة القمة

١ — الاجهادات في السطح الأعلى.

٢ — زوايا الدوران

نقطة الربع

١ — الاجهادات في السطح الأعلى

٢ — الترخيم

(شكل ١٦)

كوبري فالتالبانج من نوع المقد المقوى ونتيجة تجربة تحميله

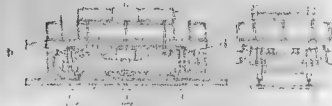
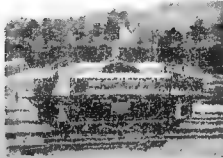


Abb 105a u. b. Einzelspuriger Belastungswagen der
Schweizerischen Bundesbahnen.

(شكل ١٧)

عربة تحميل الكبارى للسكك الحديدية السويسرية . ترفع العجلتين الأمامية
والخلفية عند التجربة فيتركز الحمل على العجلة الوسطى

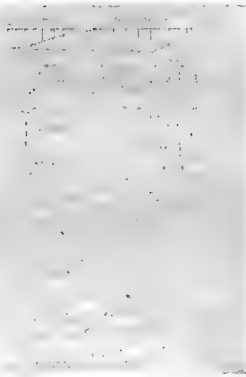


(شكل ١٨)

سيارة التعميل التي استعملت في اختبار كوبرى وتشين بمدينة بازل وقد ركز
كل وزنها على العجلة الخلفية ومقداره ١٢ طناً



(شكل ١٩)
مكوبرى النور بمدينة فلزج



١ — الترخيم في
النصف الايسر
لموضع الحمل في
النصف الايمن

٢ — تحريك الاطراف

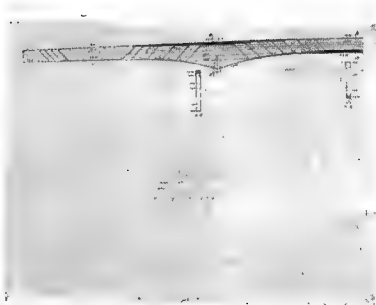
الترخيم في قمة القبة
ثم في الربع

الدوران في القمة
ثم الربع

(شكل ٢٠)
تجربة تحميل مكوبرى النور



(شكل ٢١)
كوبرى الرن بالقرب من دوريناز



(شكل ٢٢)
تفاصيل حديد تسليح كوبرى الرن بالقرب من دوريناز
ونتيجة تجربة التحميل الديناميكي



- خطوط التأخير
خط الترقيم في المنتصف
- ١ — الاجهادات في المنتصف :
أعلى وأسفل
 - ٢ — الدوران لنقطة الوسط
 - ٣ — خط ترقيم منتصف الفتحة
اليسرى
 - ٤ — الاجهادات المنتصف الفتحة
اليسرى : أعلى وأسفل
 - ٥ — الدوران للطرف الايسر
 - ٦ — الدوران فوق البغلة اليسرى

(شكل ٢٣)

نتيجة تجربة تحميل كوبرى الرن بالقرب من دوريناز

ثم تجربة أخرى لسكوبرى برشنج باورلكن من أعمال زيوريج بكرات رئيسية من النوع المستمر ذى المفصلات . فتحته فى الوسط ٢٣ و ٠٠ متر وفتحته الجانبين كل منهما ٨ و ٣٠ متر وطول الفتحة المعلقة فى الوسط ٨ و ٣٠ متر (شكل ٢٤) .

وتعمل المفصلات فى الكمرات المستمرة بقصد تقسيمها إلى كمرات بسيطة مع استقلال ماينجم عن استمرارها فى العمل ككمرات مستمرة من اقتصاد وذلك إذا لم يؤمن لطبيعة الأرض وخيف من تريح الأساسات . إذ أن الكمرات البسيطة لاتتأثر بمثل هذا الهبوط بعكس الكمرات المستمرة فإنه يغير معالمها . ويحدث فى مواضع المفصلات انكسار فى خط الترخيم إذ هى نقط الاتصال بين جزئين من المنشأ يختلفان فى طريقة عملها . فهذا النوع من السكبارى أكبر ترخيماً من مثيله من السكبارى المستمرة ولكنه أكثر صلابة من ذات الفتحات البسيطة .

ويرتكز السكوبرى الذى نحن بصدده على قوائم محكمة الاتصال به وبالدعائم التى تقف عليها . وهذه القوائم تنقوض عند تحميل السكوبرى نتيجة لدوران الكمرات المتصلة برؤوسها وتبعيتها لها .

وقد أجريت التجربة بوضع حمل قدره ٧,٥ طن فى منتصف الفتحة المعلقة لاجدى الكمرات الرئيسية وبمقارنة خط الترخيم نتيجة الحساب النظرى لحمل قدره ٥ أطنان مع مراعاة فرق مقدار التحميل نجد مطابقة القياس للحساب .

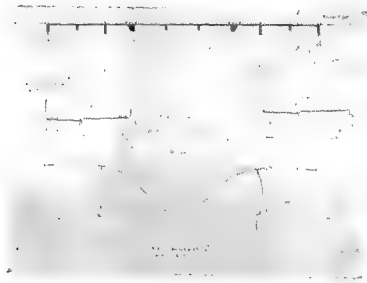
ولم تظهر الدعائم السفلى أى دوران يذكر عند التحميل مما يجعل القوائم كاملة التثبيت فى أطرافها .

وإلى حضر تسك برهان ساطع على شدة ولاء المنشآت للنظريات وهى فى أشد
مغنها وتعلقها بها إلى آخر رمق من حياتها وهو حادث فى كوبرى تافانازا على منابع
نهر الرين العليا بسويسرا إذ انقض على هذا الكوبرى البائس وابل من
من الحجارة الضخمة من أعلى الجبل فقصه قصا (شكل ٢٥) .

ونرى هنا كسر عجيب أبى ألا أن يسير على خط مستقيم عمودى على
المحور محتفظا بذلك مستوى قطاعه العرضى باستقامته على حد قول نافيير . فان
الضربة القاضية لم تمهل المواد من حديد وخرسانة لتمدد وتنقلص بل فاجأتها
بما لا قبل لها به فأجهزت عليها مؤيدة لظاهره يعرفها من مارس فن اختبار المواد
وهى أن الكسر الديناميكي يحدث بدون تغيير فى الطول .

ننتقل الآن إلى استعراض بعض تجارب التحميل فى المباني . تتجه الأنظار
عند عمل هذه التجارب إلى الاستغناء ما أمكن عن التحميل بواسطة رص الأثقال
كقطع الحديد أو شكائر الرمل على الجزء المراد اختباره والاستغناء عنها
بإستخدام المسكابس الأيدروليكية فى أحداث القوات المطاوعة فوق التحميل
بها أقصر فهو لا يستغرق بضع دقائق ومن السهل إعادته عمل التجربة عدة مرات
ولا يكلف ذلك أكثر من رفع الضغط وخفضه فى المسكابس ومن السهل الوصول
إلى أقصى قيمة للتحميل على دفعات والرجوع بعد كل منها إلى الصفر لدراسة
فعل التحميل المتغير بطريقة دقيقة ويكفى لذلك ضبط التحميل بمقياس ضغط
مدرج (مانومتر) .

ويمتاز هذا النوع من التحميل بدقة مانحصل عليه به من نتائج إذ أن قصر
وقت التجربة فضلا عن سهولة عملها وقلة تكاليفها لا يضطرنا إلى ترك أدوات



(شكل ٢٤)

كوبى بيرشتن باورلكن ونتيجة تجربة التحميل
(خط الترخيم)



(شکل ۲۵)
حادث کوری نافعانازا

القياس مدة طويلة. وهي مثبتة على المنشأ مما يعرض قراءتها للخطأ ويترك مجالاً للتأثرات الجوية كتغيير درجة الحرارة في التداخل في نتائج التجربة ويعرض الآلات نفسها للتلف . وللمكابس رد فعل مساو للقوة التي تضغط بها على المنشأ يعمل على فقط ارتكازها وهو ما يجب دراسة أثره بعناية عند وضع ترتيب التجربة .

تجربة كمرات سقف صالة الاجتماع الكبرى ببناء عصابة الأمم الجديد بحيف

حمل السقف على أربعة كمرات بنيت على شكل أعتاب شبكية بارتفاع أربعة أمتار وفتحات ٣٣,٤ و ٣١,٩ متر تتقاطع مع بعضها على بعد ٥,٧٠ متر من نقط الارتكاز . ويكفى أن نلقى بنظرة على ترتيب حديد التسليح (شكل ٢٦) لنرى أهمية عمل النجارب على هذه الكمرات . واقتضى هذا التسليح الجبار ما يجب على هذه الكمرات حمله من أفعال ضخمة تتراوح بين ١٤,٢٧ إلى ١٩,٢٧ طناً في المتر الطولى . ولم يكن هناك بد من استعمال حديد كروم مخصوص عالى المقاومة (شكل ٢٧) وتقرر عمل تجربة هذه الكمرات بحمل مقداره ١١٢٠ طن وقد تم ذلك باستعمال مكابس ايدروليكية وضعت بين أسفل الكمرات والشدة أماكن بها ضغط كل كمرة بمقدار ٥٦٠ طناً على أن تحمل الشدة رد فعل المكابس (شكل ٢٨) وكان التحميل فى هذه الحالة من أسفل إلى أعلى فى اتجاه عكسى لفعل وزن الكمر .

وهذه التجربة ولو أنها مخالفة لما يجرى فى الواقع إلا أنها أدت إلى النرض

المطلوب كاملاً بطريقة بسيطة ناجحة . فقيس الترخيم والدوران والاجهاد في أجزاء
الكمر المختلفة ومنه استخلص ما هي عليه هذه المقادير في صيغتها النهائية تحت
تأثير وزن الحمل الثابت والحمل الحى (شكل ٢٩) .

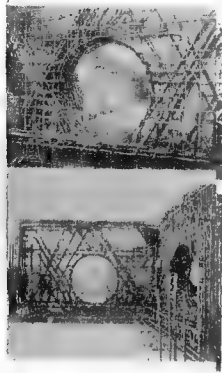
وقد أوصلتنا هذه التجارب إلى النتائج الآتية :

(١) كانت الكمرات تحمل جزءاً من وزنها وهى لا تزال رأسية
على الفرع .

(٢) اشتركت السقوف المرتبطة برؤوس الكمرات مع الكمرات في رفع
الحمل فتتبع عن ذلك زيادة كبيرة في متانتها مما أدى إلى انخفاض قيم الترخيم
والتقويس إلى النصف وانخفضت تبعاً لذلك قيم الاجهادات في رؤوس الكمرات
إلى النصف . فأقصى ضغط قيس في رأس الكمرة العليا كان حوالى ٥٠ كيلوجراما
على السنتيمتر المربع للخرسانة وأقصى شد في الحديد في رأس الكمرة
السفلى بلغ ١١٧٠ كيلوجراما على السنتيمتر المربع في حين أن الحدود المسموح
بها في هذه الحالة والى عمل عليها حساب الكمر كانت ١٠٠ و ٢٣٠٠ كيلوجراما
على السنتيمتر المربع للخرسانة والحديد على التوالي .

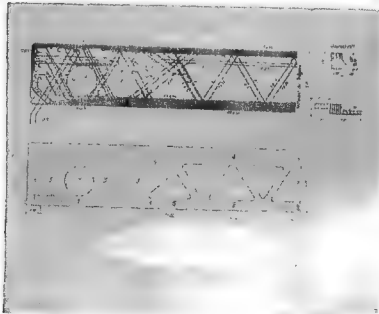
(٣) لم تتأثر قوى أعضاء الشبكة بهذه التقوية : إذ أن هذه عليها أن تحمل
قوى القص مما لا دخل يذكر لرؤوس الكمرات فيه . ولكن الاجهادات التى
بها لم تتجاوز الحدود المقررة .

(٤) معامل السلامة للخرسانة والحديد بالنسبة لمقاومتها للكسر هو ٣ و ٢
على التوالي .



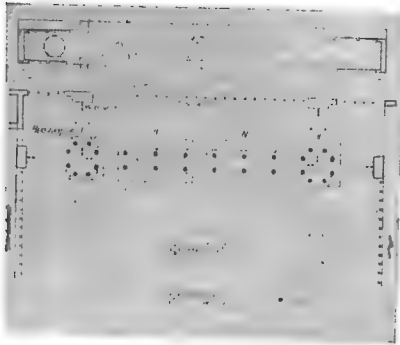
(شكل ٢٦)

منظر لحديد تسايح كمرات سقف صالة الاجتماع الكبرى
ببناء عصابة الأمم الجديد بجنيف



(شكل ٢٧)

أعلى : تفاصيل التسايح . أسفل : ترتيب صب الخرسانة



(شكل ٢٨)

ترتيب السكابس الهيدروليكية وأدوات القياس عند عمل التجربة



(شكل ٢٩)

نتيجة التجربة أعلى : مقادير التغير في وحدة الطول بواحد على المليون
أسفل : خط الترخيم وزوايا الدوران

هـ) الاجهادات الثانوية عالية جداً وهي في المتوسط ٧٠ ٪ وقد وصلت قيمتها إلى ١٧٤ ٪

تجارب تحميل البلاطات

ساد استعمال البلاطات المنبسطة وهي التي تتركز على الأعمدة مباشرة دون أن يتوسطهما السكمرات الطولية والعرضية (شكل ٣٠)

وهذه البلاطات اقتصادية جداً في حالة الأحمال الثقيلة فضلاً عن أن تنفيذها لا يحتاج إلى فرم خشبية معقدة .

والدراسة النظرية الدقيقة لهذه البلاطات معقدة جداً وقلما أوصلت إلى حل بالسرعة والسهولة التي تتطلبها . ويجرى حساب هذه البلاطات في الأحوال العملية على أساس ما أجرى عليها من تجارب . فشكل تجربة تعمل على هذه البلاطات تزيد في ايضاح طريقة عملها وتجعلها أكثر تداولاً .

ولاجراء تجارب واقية استعاض عن طريقة التحميل العادية بحمل مفرد متحرك مكون من هربة محملة بكنتل تجرى على خط ديكوفيل يمد على طول الموضع المراد تحميلها وبذلك يسهل قياس سطوح التأثير لأي نقطة في السقف . (شكل ٣١) .

و (الشكل ٣٢) يبين نتائج مثل هذا القياس لسقف سمكه ١٨ سم بأعمدة بار ارتفاع أربعة أمتار على مسافات ٦,٣٦ . عملت التجربة بحمل قدره ٥,١ طن مركب على عربة وقيست سطوح التأثير للترخيم والاجهاد للنقطة الوسط في إحدى المربعات .

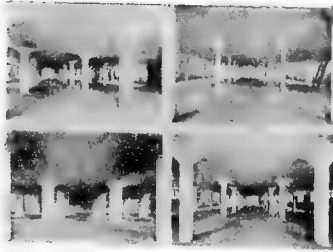
وقد أظهرت هذه التجارب ما اختصت به هذه الأسقف من المثانة الكبيرة والقدرة الفائقة على الحمل مع قلة الترخيم والتقويض مما أدى إلى امكان الاقتصاد الكبير في مخاناتها والتمادى في زيادة فتحاتها وشكل ٣٠ ب يبين مثالا رائعا لهذه البلاطات وهو سقف معامل سيارات أو بل عملت فيه البلاطات بفتحات . ١٢٠٢٠ .

وإلى حضراتكم تجربة تحميل طريقة عملت على سلم القفز لاجدى حمامات السباحة . أجرى التحميل بنقل مقداره ٧٥٠ كيلو جراما في طرف المصطبة العليا يليه حملان كل منهما ٣٥٠ كيلو جراما . وقد قيس الدوران والترخيم والاجهاد في الأجزاء المختلفة للسلم فطابق ذلك النتائج الحسابية بشكل يدعو إلى الارتياح (شكل ٣٣) .

وعملت التجربة الديناميكية لاختبار الاهتزاز بجمل خمسة رجال ثم ثمانية يقفزون دفعة واحدة من المصطبة العليا إلى الماء . ثم أجريت عملية اهتزاز بترنح ثلاثة ثم ستة رجال معاً في وقت واحد . وهذه الطريقة الأخيرة هي المتبعة غالباً لأحداث الاهتزاز في الأبراج عند اختبارها؛ وتضبط حركة الرجال بالمترونوم المستعمل في ضبط الآلات الموسيقية .

تجارب التحميل الديناميكي

تشير الأحمال المتحركة الاهتزاز في المنشآت عند مرورها فوقها بسرعات عالية . وقد تضخمت هذه الظاهرة في المدة الأخيرة نتيجة للتطور الكبير الذي حدث في أنواع الأحمال لبني بمقتضيات الحياة العصرية . إذ أن تضخم حركة النقل الناتجة عن ازدياد العمران اضطر الحال إلى زيادة قوة القاطرات والسيارات



(١)



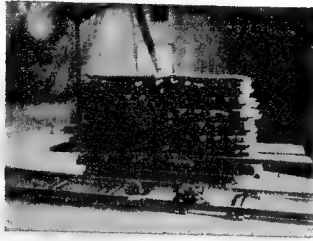
(ب)

(شكل ٣٠)

الأسقف من البلاطات المنبسطة

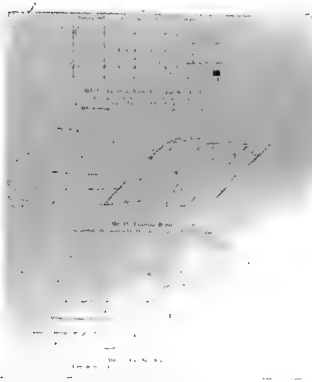
١ : أسقف بنائية عالية ويرى التدرج في أحجام الأعمدة في الطبقات المختلفة للبناء

ب : سقف معامل سيارات أو بل فتحة البلاطة ١٢,٢٠ متر



(شكل ٣١)

مرية التحميل لتجربة الاسف وفقد لما خط ديكونيل



(شكل ٣٢)

نتيجة تجارب تحميل البلاطات المنبسطة
أعلى : خطوط الترخيم : أسفل : خطوط الاجهادات



(شكل ٣٣)
معمارية تجميل سلم النط لمصام سباحة

وارتفاع سرعاتها فتتبع ذلك زيادة كبيرة في أوزانها وما ينتج عنها من تأثير ديناميكي في الوقت الذي أنجبت فيه الأفكار إلى التمداد في الاقتصاد في مكبات البناء واستنفاد ما في المواد من قوة إلى آخر رفق فأدى ذلك إلى انخفاض ما ينتج في المنشأ من اجهادات من وزنه وارتفاع ما ينتج منها فيه عن الأحوال المتحركة والنتيجة الطبيعية لذلك هو سيطرة الاجهادات المتغيرة وما يتلو ذلك من أتعاب المواد ثم تضخم ظاهرة الاهتزاز .

والاجسام المرنة خواص ديناميكية هامة فإذا أثير الاهتزاز في جسم وترك وشأنه ليتهتز اهتزازا حرا رسم عدد معين من الهزات في الثانية . وهذا العدد ثابت له ويعد من أهم مميزاته ويسمى بهزته الذاتية .

فإذا عملت على الجسم قوة خارجية متغيرة التردد فان قيمة الاهتزاز الذي تحدثه يزداد كلما قرب ترددها من الهزة الذاتية للجسم وعندها يبلغ أقصاه ثم يأخذ بعد ذلك في التناقص . هذه الظاهرة من أهم خواص الاجسام وتسمى ظاهرة الرعونة وبها قد يبلغ الاهتزاز وما ينتج عنه مقادير خطيرة (شكل ٣٤)

وتزود عجلات الادارة في القاطرات بكتل الاتزان لتعادل الأجزاء المترددة (شكل ٣٥) تعمل على هذه الكتل عند سير القاطرة قوى مركزية طاردة فينشأ عنها قوى مترددة تزداد قيمها بإزداد السرعة وتعمل على أحداث ضربات تسمى بالطرق يساوى ترددها خارج قسمة السرعة على محيط عجلة الادارة . وتثير قوى الطرق الاهتزاز في الكبارى بمقدار يقناسب مع قيمها (شكل ٣٦) وتقذف بها إلى الرعونة إذا اتفق ترددها مع الهزة الذاتية للكوبرى وهر محل فتحدث فيه هزات عنيفة واجهادات عالية .

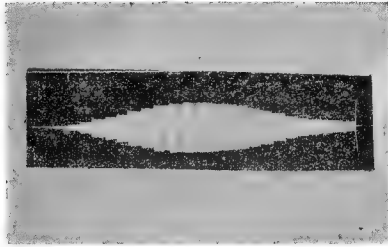
وتحدث نفس الظاهرة على كبارى الطرق باهتزاز أجسام السيارات على السست اذ لكل منها هزة ذاتية خاصة وما ينتج عن ذلك من ضربات ينتقل الى الكوبرى ويشير الاهتزاز فيه .

أما فى المباني فيشار الاهتزاز نتيجة دوران الآلات فيها خصوصا اذا قذفت بها هذه الى الرعونة .

وتعمل تجارب الرعونة على الكبارى باطلاق قاطرة التجربة أو السيارة بسرعات متزايدة وقياس ما ينتج عنها من اهتزاز واجهاد ثم ترسم المنحنيات التى تربط العلاقة بين سعة الذبذبة أو قيمة الاجهاد مع عدد الهزات فى الثانية وتسمى منحنيات الرعونة . ومنها تتعين الهزة الذاتية بأعلى قيمة للمنحنى وتحدد قيمة تضخم تأثير الطرق بفعل الرعونة

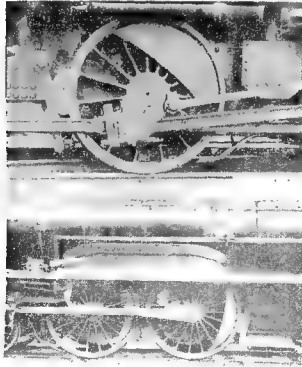
وتعمل تجارب الرعونة فى المباني بالآلات خاصة باحداث الاهتزاز تستعمل فى الكبارى أيضا هى فى مبناها عبارة عن قرصين دائرين مرسكب على حافة كل منهما كتلة (شكل ٣٧) فكل منهما أشبه والحالة هذه بعجلة الادارة للقاطرة . ويدور القرصان فى اتجاهين مختلفين فيحدثان قوة مترددة تعمل على إثارة الاهتزاز ويمكن عمل تجارب الرعونة بها (شكل ٣٨ و ٣٩)

ويربط مقدار الاهتزاز بعدد الهزات فى الثانية بمحصل على منحنى الرعونة (شكل ٤٠) فبمعرفة الهزة الذاتية للمنشئ يمكن تحاشي مرور الأحمال بالحالة التى تقذف به فى الرعونة كما يتم ذلك بتحديد السرعات على الكبارى وبتغيير عدد دورات الآلات فى المباني



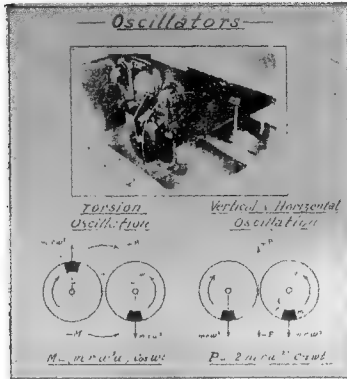
(شكل ٣٤)

دياجرام مأخوذ بقياس الاهتزاز لتجربة زعونة على إحدى الكبارى

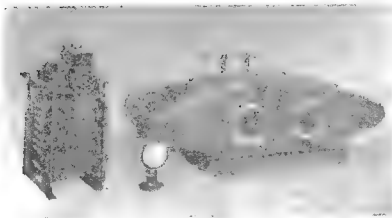


(شكل ٣٥)

محجلات الادارة للقاطرات وهى : زوده بكنل الاثزان
أعلى : قاطرة البضاعة . أسفل : قاطرة الاكسبريس



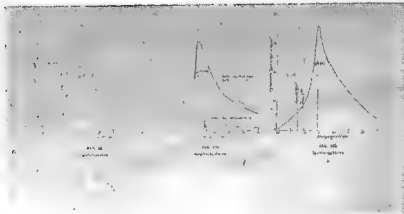
(شكل ٣٧)
آلة اهتزاز ويبان طريقة عملها



(شكل ٣٨)
آلة الاهتزاز المستعملة في اختبار الكبارى والمباني



(شكل ٣٩)
آلة الاهتزاز المستعملة في اختبار كبرى السكة الحديد



(شكل ٤٠)
منحنيات الرعونة المأخوذة بآلة الاهتزاز ١ — القوة الكهربائية المستهلكة
٢ — سعة الذبذبة ٣ — الاحداث

وإلى حضراتكم تجربة كوبرى أدولف بمدينة لكسمبورج وهو عقد حجري كبير من خير ما عمله المهندس الفرنسى سيجورتيه فتحته ٨٢,٢٠ متر وارتفاعه ٢١,٠٣ متر (شكل ٤١) .

عملت التجربة بآلة الاهتزاز فتعددت قيمة هزته الذاتية بأربعة ومقدار قوة التكبير للطرق بفعل الرعونة بخمسة وعشرين .

وتجربة أخرى لبرج من الخرصانة المسلحة فى معمل استخراج الغاز بمدينة بازل معد لتوزيع الفحم (شكل ٤٢) وقد صادف تقارب دورات الآلات المتصلة به بهزته الذاتية فنتج عن ذلك استمرار البرج فى الاهتزاز مع حدوث ضربات دورية فيه . وقد كانت سعة الذبذبة ١٥,٠ من المليمتر فقط ومع ذلك فقد كانت بليغة التأثير على الجسم البشرى مما يدل على حساسيته الشديدة للاهتزاز . ولم يتجاوز الاجهاد الناشئ عن الاهتزاز نصف الكيلوجرام على السنتيمتر المربع وهو مقدار لا قيمة كبيرة له فى التأثير على سلامة المنشأ . وهو يدل على أن ما ينشأ من الاجهادات نتيجة الاهتزاز يمكن اهماله غالباً فى المباني السكنية قد يكون بليغ الضرر فى الكبارى إلى درجة يجعل سلامتها فى خطر .

آلات القياس

قياس الاجهادات الاستاتيكية

يستعمل لذلك فى الغالب التفسومتر من نوع هو جنزجر (شكل ٤٣) وهو عبارة عن آلة تكبير من ذوات المؤشر له سن ثابت وآخر متحرك يدور حول نقطة ارتكاز فيدير معه ذراع الآلة الطويل وهذا يجنب بطرفه الأقصى الطرف

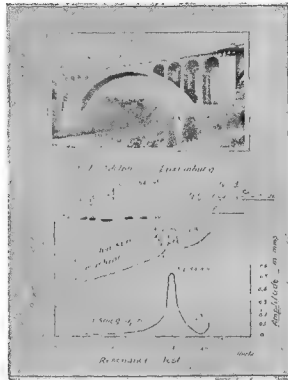
القصير المؤشر فيجعل طرفه الطويل يتحرك على مقياس مدرج بالمليمترات فيتم التكبير بذلك على دفتين ومقداره حوالى ١٠٠٠

وطول المسافة بين السنين سنتيمتران فكل قسم على المقياس يعادل بذلك اجهاد قدره ١٠٠ كيلوجراما على السنتيمتر المربع على الحديد وعشر هذا المقدار تقريباً للخرسانة .

ولما كانت الاجهادات التي تقابلها فى القياس العملى قلما تعبت ١٠٠ كيلو جراما على السنتيمتر المربع على الخرسانة وتكون ذا قيم صغيرة غالباً عمل على زيادة حساسية التفسومتر بتطويل مسافة القياس فيه الى ١٠ و ٢٠ و ٥٠ و ١٠٠ سم حسب مقتضيات الأحوال وتستعمل الأطوال الكبيرة فى حالة الاجهادات الصغيرة إذ أنه فى حالة القياس بطول ١٠٠ سم يعادل كل قسم على المقياس حوالى ٠.٢ كيلوجراما على السنتيمتر المربع للخرسانة .

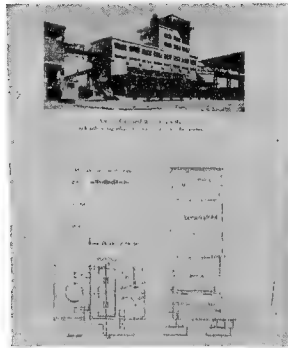
قياس الاجهادات الديناميكية

الغالب استعماله هو مقياس ماير للاجهادات الديناميكية (شكل ٤٤) طول مسافة القياس فيه ٢٠ سنتيمتر يمكن زيادتها الى ٤٠ سنتيمتراً . يجرى التكبير فيه آلياً بواسطة الأذرع على دفتين كما فى التفسومتر ومقداره حوالى ١٠٠ وتسجل حركة سن المؤشر على شريط دائر من الورق المسود . وفى حالة طول القياس على ٢٠ سنتيمترا يعادل كل مليمتر لحركة سن المؤشر اجهاد قدره مائة كيلوجراما على السنتيمتر المربع للحديد وعشر هذا المقدار تقريباً على الخرسانة .



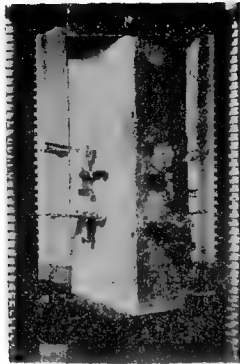
(شكل ٤١)

تجربة كوبري أدوان بلكسمبورج أعلى : منحنى القوة الكهربائية
المستهلكة . أسفل : منحنى سعة الذبذبة



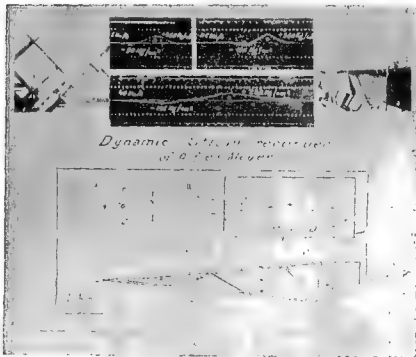
(شكل ٤٢)

مجرية برج توزيع الفحم لمحطة استخراج الغاز بمدينة يازله



(شكل ٤٣)

مقاييس الاجهادات الاستاتيكية وهي مثبتة في موضع القياس



(شكل ٤٤)

مقاييس الاجهادات الديناميكية

قياس الدوران

يستعمل لقياس الدوران الكليينومتر (شكل ٤٥) تثبت الآلة في موضع القياس وتضبط فقاعة الهواء في المنتصف قبل اجراء عملية التحميل ثم تدون قراءة الميكرومتر في الموضع المقابل للمؤشر . فبالنحليل تدور نقطة القياس وتنحرف الفقاعة عن نقطة الوسط . فيعمل بالميكرومتر على ارجاعها اليها ثانية ثم تعاد قراءته . فالفرق بين القراءتين يعطى زاوية الدوران التي رسمها المنشأ عند نقطة القياس نتيجة التحميل .

قياس الترخيم الاستاتيكي

يستعمل لذلك ساعات القياس (شكل ٤٦) تثبت الساعة على قاعدة ثابتة وتضبط بمؤشرها تحت النقطة المراد تدوين ترخيمها . ويتصل بالمؤشر مشط يعمل على إدارة مجموعة تروس مركب عليها عقارب الساعة فتأثر هذه بذلك الحركة على قرص مدرج وتقيس هذه الساعات الترخيم إلى أقرب واحد على مائة من المليمتر .

قياس الاهتزاز

في الأحوال التي يكون فيها الاهتزاز كبيرا ولا يحتاج في قياسه إلى دقة كبيرة يكتفى باستعمال الدفلكتومتر العادي (شكل ٤٧) وهو آلة قياس من ذات المؤشر يتم التكبير فيها آليا بنسبة طولى ذراعى المؤشر . يربط طرف المؤشر الخارجى بنقطة ثابتة تثبت الآلة على النقطة المراد

القياس فيها . فباhtزاز هذه النقطة يدون سن المؤشر الحركة مكبرة على شريط من الورق مشدود على اسطوانة دائرة .

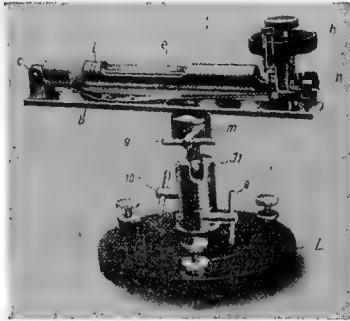
هذا المقياس لا يقي بالغرض في أحوال القياس الدقيقة كعمل تجارب الزعونة في الكبارى وكقياس الاهتزاز في المباني والابراج . فيستعاض عنه بالآلات أدق منه .

فيستعمل الاسلوجراف في قياس اهتزاز الكبارى وفيه يربط المؤشر بنقطة ثابتة وتهتز الآلة مع نقطة القياس فيدون سن المؤشر الاهتزاز على شريط من الباغه يلف بسرعة كبيرة .

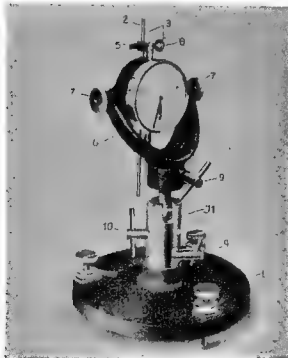
وقد استنبطت آلات لقياس الحركة اشتغنى فيها عن ضرورة وجود نقطة ثابتة لربط المؤشر . وهى أدق أنواع آلات القياس . وقد زودت بأوزان كبيرة معقدة يساعدها مالهـا من قصور ذاتى على الثبات . فى موضعها عند الاهتزاز فتستعمل بذلك مرجعاً للقياس بالنسبة اليها ومن هذه الآلات الفيروجراف بنوعية لقياس الاهتزازين الرأسى والافقى .

وأدق أنواعها هو السيسموجراف (شكل ٤٨) وهو مزود بثلاثة مؤشرات لتدوين الحركة فى ثلاثة اتجاهات متعامدة فتتحدد بذلك الحركة الفراغية للنقطة المثبت عليها .

ويرجع الفضل إلى دقة هذه الآلات فى تقدم فن القياس وارتقائه وما تلاه من تطور كبير فى طرق اختيار المواد وتجارت التحميل .



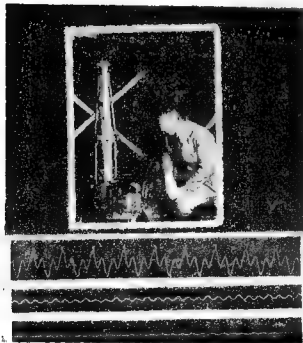
(شكل ٤٥)
مقياس زوايا الدوران



(شكل ٤٦)
ساعات قياس الترخيم



(شكل ٤٧)
مقياس الترخيم والاهتزاز البسيط



(شكل ٤٨)
مقياس الاهتزاز الدقيق (السيسوجراف)

نستخلص من محاضرة اليوم أن تفهم خواص المواد ودقة ملاحظة هذه الخواص في عمل الحساب النظرى ثم استيفاء دراسة المنشآت من الوجهة النظرية ينتج لنا منشآت تتبع في طريقة عملها النظريات بدرجة كبيرة ترفع من قيمة هذه النظريات وتجعلها موضع ثقة عالية . وأن فن البناء الحديث يتطلب فوق الخبرة العملية عرفانا كاملا للنظريات يعززها فكل منهما مكمل للآخر ولا غنى له عنه .

المراجع

- 1) Rös, M. Prof. Dr. Ing. h. c.
Versuche und Erfahrungen an ausgeführten Eisenbeton -
Bauwerken in der Schweiz 1924-1937.
Bericht N^o. 99 der Eidg. Material-pruefungsanstalt an der
E. T. H. Zuerich.
- 2) Mortada, S. Dr. Sc. techn.
Beitrag zur Untersuchung der Fachwerke aus geschweis-
tem stahl und Eisenbeton unter den statischen und Dauerbe-
anspruchungen.
Bericht N^o. 103 der Eidg. Material-pruefungsanstalt an der
E. T. H. Zuerich, 1937.
Diss. E. T. H. 1936.
- 3) Mortada, S. Dr. Sc. techn.
Beanspruchung und Sicherheit des Eisenbeton-Fachwerke.
Schlussbericht des zweiten internationalen Kongresses
fuer Brueckenbau und Hochbau Berlin — Muenchen, 1-11
Oktober 1936.
Verlag von Wilhelm Ernst & shon, Berlin 1938.
- 4) Spaeth, W. Dr. Ing.
Theorie und Praxis der Schwingungs-pruefmaschinen.
Verlag von Julius Springer, Berlin 1934.
- 5) Report of the Bridge stress Committee.
Published under the authority of His Majesty's stationary
Office, London 1928.
- 6) Brebera.
Anwendung von stahl mit hochliegender streckgrenze im
Eisenbetonbau.

Vorbericht des zweiten internationalen Kongresses fuer
Brueckenbau und Hochbau.

7) Brebera.

Das Schweissen von hochwertiger stahlbewerung "Roxor"

Schlussbericht des zweiten internationalen Kongresses
fuer Brueckenbau und Hochbau.

8) Rös, M. Prof. Dr. Ing. h. c.

Gegeuwertiger Stand und aktuelle Probleme hochwertiger
stahlbewerter und nicht bewehrter Zementrohre.

Bericht N^o 35 der Eidg. Material-pruefungsanstalt an
der E. T. H. Zuerich.

9) Bernhard, R. Prof. Dr. Ing.

Dauerversuche an genieteten und geschweissten Bruecken.

Sonderdruck der Zeitschrift des V. D. I. Bd. 73 (1929)
N^o 47.

(١٠) مرتضى : « الديناميكا في هندسة الكبارى » الكتاب السنوى لجمعية الهندسة
المدنية بكافة الهندسة بجامعة فؤاد الأول لسنة ١٩٣٩ .

(١١) مرتضى : (تجربة تحميل سقف صالة الاجتماع الكبرى ببناء عصابة الامم الجديدة
بجنيف) مجلة العمارة العدد الأول لسنة ١٩٣٩

(١٢) مرتضى : (الكبارى الخفيفة من الحراسانة للسلحة) . مجلة العمارة العدد الثانى
لسنة ١٩٣٩

